

Manejo del Sistema Suelo – Pasto: partida para la producción de forrajes

Dr. Rafael E. Salas Camacho

M.Sc. Gilberto Cabalceta

Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

Introducción

En los últimos años, en la mayoría de los países de la América Tropical, se presentan problemas de baja productividad en el ganado lechero. Dentro de las causas que motivan esta disminución se encuentran la baja disponibilidad y calidad de los forrajes y el alto nivel de degradación de estos y de los suelos. En la actual situación de deterioro de los ecosistemas ganaderos, se requiere de profundas transformaciones en su explotación, basadas en principios agroecológicos, donde los sistemas ganaderos se consideren como un ecosistema y no como una simple gestión técnico-económica.

La dinámica de los ecosistemas de pastos, y en especial la relación suelo-pasto-clima, ha sido un tema poco estudiado en nuestro medio. El conocimiento pleno de lo que es un suelo nos permite trabajar con él sin afectar su fertilidad y productividad. El suelo es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos que contienen una gran variedad de macro y microorganismos. La fertilidad del suelo está en función de la eficiencia del reciclaje continuo de nutrimentos. La proporción de nutrimentos no disponibles, ya sea en la biomasa o en el suelo, depende del clima.

Si bien la ganadería es una actividad productiva importante, cada vez sus efectos negativos para el suelo se hacen más evidentes. Por esta razón, uno de los principales retos que enfrenta la ganadería de leche, es la necesidad de desarrollar un sistema viable con forrajes que sean capaces de asegurar una producción incrementada y sostenible con un mínimo de degradación del recurso suelo (Kang B., 1994) “Porque aquellos que son capaces de leer los signos que reflejan cómo le está yendo a la tierra y comprender las consecuencias, tienen una mejor oportunidad de lograr un uso sostenible efectivo de la tierra” (Campbell, 1994 citado por LEISA, 1997).

Aspectos de Fertilidad del Suelo

Un suelo sujeto a un pastoreo continuo, se degrada lentamente porque pierde su fertilidad actual si la restitución de los nutrimentos del suelo, bien sea en forma de heces, fertilizante orgánico, fertilizante inorgánico, o una combinación de estos tres insumos, es insuficiente. Su conservación se ha basado en un balance de nutrimentos, que incluye la cantidad presente en el suelo, la cantidad que extraen los forrajes para una producción esperada y la eficiencia de la absorción de los nutrimentos por las plantas aplicados como fertilizantes.

Por esta razón, el análisis de la fertilidad del suelo debe hacerse en términos más amplios que incluyan además de las variables químicas, las físicas, biológicas y ambientales (Altieri M. y Yurjevic A., 1991).

Aspectos de Física de Suelos

Los suelos de las explotaciones de ganado lechero están expuestos a diversos tipos de interacciones entre los animales, las plantas y el suelo. El pisoteo animal, tiene como resultado final su efecto en la compactación del suelo, lo cual termina afectando el hábitat de las raíces, microorganismos y la productividad de los pastos, ya que el suelo reduce su capacidad para retener agua y suministrar oxígeno. Además, la compactación del suelo puede originar o acelerar otros procesos de degradación del suelo, como la erosión o los deslizamientos de tierras, ya que al reducir la capacidad de infiltración, incrementa la escorrentía en los terrenos con pendiente. La presencia de una capa compactada hace que la capa superior del suelo sea más proclive a la saturación hídrica y, por ende, más pesada permitiendo su deslizamiento. En las partes llanas, la compactación puede dar a lugar a la anegación de terrenos, con la consiguiente destrucción de agregados y la formación de costras. Esta saturación de agua en la superficie produce por la falta de oxígeno, alteraciones en la composición química de los nutrimentos propios del suelo o agregados como fertilizante (Handeh, 2003), (Defossez et al., 2002).

Si el contenido de humedad del suelo es elevado, el impacto de la pesuña suele provocar deformación de la superficie del suelo (Sosa et al., 1995), lo cual genera un aumento en la densidad aparente, disminución de la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración. Es por esta razón que el valor de la densidad aparente es un buen índice del grado de compactación del mismo, o sea de la reducción del espacio poroso no capilar, responsable de la infiltración y de la aireación del suelo. Varios autores coinciden al reportar que el crecimiento de los pastos se ve reducido por la compactación del suelo ya que reduce la tasa de rebrotes e incrementa el número de malezas (Ahmed et al., 1987).

Phillips and Kirkham (1962) sugieren que la medición de la resistencia a la penetración en un suelo es mejor medida que la densidad aparente para la determinación del grado de desarrollo de raíces en un suelo y que el penetrómetro es más preciso para medir la resistencia que sufren las raíces para entrar en el suelo. Forsythe (1986) indica que la resistencia del suelo a la penetración de las raíces es la fuerza que este opone a un instrumento de prueba que simula el efecto de penetración de las raíces; de esta forma es posible relacionar directamente a este índice, la capacidad que tienen las raíces de las plantas al crecer y elongarse en alguna condición de suelo determinada y este índice representa directamente el grado de compactación que tiene el suelo. Este índice puede ser expuesto en términos de porcentaje de penetración de raíces de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Penetración de raíces} = 104.6 - 3.53(\text{R.P.})$$

Donde R.P. es resistencia a la penetración en bares de presión.

El conocimiento de la porosidad de un suelo forrajero es otro indicador importante para detectar problemas de compactación. Carter (1990) indica que la macroporosidad y los poros para aireación son buenos indicadores de la condición física del suelo, reportando que valores entre 10 y 12% son los límites para tener una adecuada aireación del suelo y valores más bajos reducen la productividad del pasto. Las prácticas de manejo y factores ambientales pueden cambiar drásticamente la macroporosidad del suelo (Perroux y White, 1988). En los suelos la forma y tamaño de las partículas varían considerablemente formando espacios porosos igualmente irregulares, en consecuencia el valor de la porosidad de un suelo depende de la forma y organización de sus partículas.

Las curvas de retención de humedad de un suelo, son otra herramienta que permite determinar aproximadamente la cantidad de macro, meso y microporos de un suelo (Forsythe, 1986). Estas curvas relacionan directamente las fuerzas de retención o succión del agua en el suelo y la capacidad de las plantas para tomarla del mismo. Las curvas de retención de humedad junto con la porosidad total de un suelo, permiten calcular los porcentajes de los principales poros de un suelo de la siguiente manera:

$$\text{Macroporos} = \text{P. Total} - \% \text{Hv. CC}$$

$$\text{Mesoporos} = \% \text{Hv. CC} - \% \text{Hv. PMP}$$

$$\text{Microporos} = \% \text{Hv. PMP}$$

Donde: P. Total = Porosidad total (%)

%Hv. CC = Humedad volumétrica a capacidad de campo.

%Hv. PMP = Humedad volumétrica a punto de marchitez permanente.

Si se conoce la curva de retención de humedad de un suelo y el tipo de poros predominante, otra determinación que puede dar información sobre problemas de compactación es la determinación de la conductividad hidráulica del suelo que es la capacidad del suelo saturado de permitir el movimiento de agua a través de sus poros. Esta determinación en los diferentes horizontes del suelo, sirve para evaluar la clase de permeabilidad de la parte del perfil que se moja durante la lluvia o riego (Henríquez y Cabalceta, 1992). De esta manera, horizontes superficiales con conductividades hidráulicas bajas, están correlacionadas con problemas de compactación.

Control de la compactación del suelo

Para el tratamiento de la compactación del suelo lo que se requiere es un implemento descompactador o subsolador. El implemento puede ser de construcción convencional o

de construcción casera y generalmente opera a una profundidad de 30 a 50 cm. Cuando el descompactador se introduce en el suelo, este rompe las capas compactadas y crea una red intercomunicada de poros los cuales pueden llegar hasta la superficie del suelo.

En la labor de descompactación se deben considerar algunos factores para que la labor sea eficiente:

- 1- Contenido de humedad del suelo a la profundidad deseada. El suelo no puede estar muy húmedo ya que el subsolador no romperá el suelo y en vez de eso producirá más compactación. Si el suelo está muy seco, producirá grandes terrones que se levantan afectando el pasto superficial. La mejor condición es cuando el suelo tiene una condición freable que permite que el suelo se rompa sin levantarse.
- 2- Profundidad crítica. La labor de descompactación debe efectuarse a una profundidad en donde el suelo se suelte. Si la profundidad es mayor a la crítica, el suelo no descompacta o descompacta poco y la manera de determinar esa profundidad crítica, es mediante observación en el campo a la hora de efectuar la labor mediante la apertura de huecos una vez pasado el descompactador.
- 3- Espaciado de las cuchillas. El espaciado de las cuchillas también tiene un efecto en la efectividad de la descompactación. Si el espaciado es muy amplio, no se produce una buena descompactación del suelo, ya que quedan espacios entre las cuchillas donde el suelo no se rompe. Como regla general, el espaciado de las cuchillas no debe ser mayor a 1 o 1.5 veces la profundidad de la labor.

Tanto la profundidad crítica como el espaciado de las cuchillas se deben controlar mediante apertura de huecos una vez pasado el implemento, ya que el tipo de suelo tiene mucho que ver en la labor. Una buena descompactación de suelo produce una mejora sustancial en el movimiento del agua en el suelo, mayor aireación, mayor crecimiento radical, mayor absorción de nutrimentos y por ende mayor producción de forraje.

Fertilización de los pastos

En la implementación de la fertilización, el ganadero debe considerar varios aspectos relacionados con esta práctica, ya que el tipo de fertilizante, la dosis a aplicar y el momento de aplicación varían considerablemente de acuerdo a numerosos factores dentro de los cuales podemos destacar:

- 1- Tipo de suelo, disponibilidad de nutrimentos e historial de manejo. En este punto, los análisis de suelo son la herramienta ideal para conocer las características edáficas propias de cada lote. Estos análisis no solo deben considerar los aspectos químicos de disponibilidad de nutrimentos, sino también los físicos relacionados con la productividad de los mismos.
- 2- Especie forrajera y ciclo de crecimiento. Si se trata de leguminosas las mismas dependen básicamente del suministro de fósforo y algunos elementos menores. Mientras que las gramíneas no solo requieren fósforo sino también tienen un alto consumo de nitrógeno por ser el que controla su crecimiento vegetal el cual se ve

afectado por factores ambientales como la luminosidad, temperatura y contenido de agua en el suelo. Por esta razón, el requerimiento de nutrimentos es mínimo cuando se tienen bajas tasas de crecimiento en el invierno y aumentan hasta el máximo pico de crecimiento en verano. En este aspecto, el tener información de curvas de absorción de nutrimentos es la forma más adecuada de manejar la fertilización de las pasturas.

- 3- Comportamiento de los nutrimentos en el suelo. El conocer la movilidad de los nutrimentos en el suelo, así como las reacciones químicas de los mismos, es muy importante para decidir la dosis y época de aplicación asociada a la demanda por parte de la planta. Elementos como el fósforo que sufre reacciones de fijación en el suelo, o el nitrógeno que sufre pérdidas y reacción ácida en el suelo, deben ser aplicados de acuerdo con la demanda por la planta.

El programa de fertilización de la finca, debe ser una suplementación estratégica que se ajuste al valor nutricional de forraje y a los requerimientos del ganado, junto con un manejo racional de la carga animal y del sistema de pastoreo.

El manejo de los forrajes tiene como finalidad una alta producción del sistema aéreo de la planta, por esa razón exige una buena fertilidad de los suelos. En el sistema de pastoreo, una gran parte de los nutrimentos que consume el animal regresa al suelo en las heces y la orina. Se estima que más de 80% del nitrógeno, fósforo y potasio consumidos por el animal son excretados nuevamente. Por esa razón, es común ver que la fertilización de forrajes bajo pastoreo difiere de la fertilización de pastos de corte, debido al retorno de nutrimentos por medios de las excretas. Se recomienda incluso que es posible reducir hasta en un 20% la fertilización. En general los requerimientos de fertilización de los principales elementos nutricionales: N, P, K, Ca, Mg, S difieren de acuerdo al suelo y a la especie forrajera, pero también se debe considerar que el suelo puede cambiar con el tiempo, debido a la remoción del sistema, reciclaje y a pérdidas por lixiviación y fijación.

Los fertilizantes disponibles en nuestro medio pueden ser simples o compuestos producto de mezclas químicas o físicas. Sin embargo, dado que el tipo de suelo donde se desarrollan la mayor parte de las explotaciones lecheras es de origen volcánico, la disponibilidad del calcio y del magnesio es baja por lo que el índice de acidez de los fertilizantes es muy importante de considerar especialmente en el caso de los fertilizantes nitrogenados amoniacales. La acidez residual producida por los fertilizantes nitrogenados amoniacales, hace necesario la aplicación de un material neutralizante que generalmente es el carbonato de calcio. En el caso del sulfato de amonio, 100 kg de ese fertilizante requiere la aplicación de 110 kg de carbonato de calcio para neutralizar la acidez que genera. Mientras que en el caso de la urea y el nitrato de amonio, 100 kg de cada uno de ellos requiere de 80 y 59 kg de carbonato de calcio respectivamente.

Curvas de absorción de nutrientes

El desarrollo de las curvas de absorción de nutrimentos en pastos es el primer paso para entender la relación entre los nutrimentos presentes en el suelo y en la parte foliar, debido a que estas curvas, describen por medio de una gráfica la extracción de un nutriente que hace el cultivo y permite conocer las cantidades de este elemento que fue extraída por la planta durante su ciclo de vida.

La extracción de los nutrientes depende de diferentes factores tanto internos como externos, siendo los más importantes: el potencial genético de la planta (eficiencia), la edad de la planta o estado de desarrollo de la misma y el ambiente en que crece (nutrientes del sustrato, temperatura, humedad, brillo solar).

A través de las curvas de absorción, se determinan las épocas más idóneas para la aplicación de fertilizantes, ya que las mismas se pueden realizar ligeramente antes de los momentos de mayor absorción. De lo anterior es fácil deducir que las curvas son una herramienta útil para tener una idea aproximada de la cantidad de nutrimentos totales que la planta necesita para su desarrollo, así como definir los programas de fertilización para el cultivo y maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes.

Curvas de absorción de nutrimentos para los pastos Estrella africana, Toledo y Kikuyo durante la etapa de establecimiento del potrero.

Estrella africana

La absorción de nutrimentos se relacionó con el crecimiento de la planta, de manera que a mayor producción de materia seca, mayor absorción de nutrimentos y viceversa. El nutriente que más se absorbe en el pasto Estrella fue el K, seguido por N, S, P, Ca y Mg (Cuadro 1). En cuanto a los elementos menores el orden de absorción obtenido indica que el Fe es el nutriente que más se absorbe, seguido por Mn, Zn, Cu y B.

La extracción total de nutrimentos del suelo por el pasto Estrella africana, en relación a una hectárea de siembra y con una estimación de rendimiento de 4229 kg de material seco, las cantidades de nutrientes extraídas en kg ha⁻¹, corresponden a 64 de N, 11 de P, 105 de K, 9 de Ca, 6 de Mg, 11 de S, 2,7 de Fe, 0,13 de Cu, 0,15 de Zn, 0,26 de Mn y 0,03 de B. De estos valores se considera 100 % de extracción, ya que en esta fase de establecimiento no existió exportación de nutrientes a otro sistema.

Cuadro 1. Absorción total de nutrimentos por el pasto Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*) en Carrizal, Alajuela, y los pastos Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) y Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) en San Carlos, Alajuela, durante el periodo de establecimiento del cultivo (Costa Rica).

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella	Relación Aproximada
	kg ha ⁻¹			
K	400	211	105	4:2:1
N	245	118	64	4:2:1
Ca	49	28	9	5:3:1
P	43	16	11	4:2:1
Mg	39	28	6	6:5:1
S	34	10	11	3:1:1
Fe	58,76	18,77	2,74	20:6:1
Cu	0,36	0,10	0,13	3:1:1
Zn	0,86	0,28	0,15	6:2:1
Mn	1,95	1,10	0,26	8:4:1
B	0,08	0,12	0,03	1:6:2
Peso seco	14 343	9 044	4 229	3:2:1

Fuente: Rivera 2008.

cv Toledo

El nutrimento de mayor absorción del cv. Toledo fue el K, seguido por N, Ca, Mg con el mismo valor, P y S (Cuadro 1). El orden de absorción obtenido en los elementos menores indica que el Fe es el nutrimento que más se consumió, seguido por Mn, Zn, Cu y B. Al igual que en el Estrella, el Fe presentó las mayores concentraciones en la raíz, pero el comportamiento de la absorción no fue errático como en el caso del pasto anterior, donde se mostró altibajos entre un muestreo y otro. Aún así, la absorción de Fe es alta, alcanzando niveles superiores a elementos primarios como el P, lo que refleja irregularidad en los datos por las causas previamente mencionadas. Por otra parte la absorción de B se manifestó 4 veces mayor en el Toledo respecto al Estrella.

Tomando como referencia una hectárea de siembra, con un rendimiento de 9044 kg de material seco, las cantidades de nutrientes extraídas en kg ha⁻¹ corresponden a 118 kg de N, 16 de P, 211 de K, 28 de Ca, 28 de Mg, 10 de S, 19 de Fe, 0,09 de Cu, 0,28 de Zn, 1 de Mn y 0,12 de B.

Kikuyo

Para un rendimiento de 14343 kg de material seco por hectárea, las cantidades extraídas de N, P, K, Ca, Mg y S, en el momento de mayor absorción fueron 245, 43, 400, 49, 39 y 34 kg ha⁻¹ respectivamente. Las cantidades de micro nutrimentos absorbidas en el punto más alto de la curva fueron de 58,7; 0,36; 0,86; 1,95 y 0,08 kg ha⁻¹ para el Fe, Cu, Zn, Mn y B respectivamente (Cuadros 1).

Absorción de nutrientes por periodo de descanso en los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo durante un año, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

Una vez concluida la fase de establecimiento de los potreros, se permitió el ingreso de animales en producción a las parcelas para iniciar con la fase de variación estacional (Absorción al final de cada período de descanso). A diferencia de la curva de establecimiento, la absorción de nutrientes no solo estuvo directamente relacionada con la producción de materia seca; sino que en esta fase (aproximadamente 1 año), los cambios de precipitación y temperatura y de manejo que se presentaron con el tiempo en la finca, inciden en el comportamiento de la absorción de nutrientes.

Estrella Africana

Durante un año se analizó el comportamiento del pasto Estrella y se obtuvo una producción de 59 t ha⁻¹ de peso seco (Cuadro 2). Al referirse a la absorción de nutrientes, esta fue proporcional a la producción de materia seca, de manera que a mayor producción de materia seca, mayor absorción de nutrientes y viceversa.

Al aproximar las cantidades totales absorbidas por el forraje se obtuvo que el K es el elemento que más se absorbió, seguido por el N, Ca, P, S y Mg. En el caso de los elementos menores en orden de mayor consumo, el Fe ocupó el primer lugar seguido de Mn, Zn, Cu y B.

Cuadro 2. Peso seco y absorción total de nutrientes por periodo de descanso durante un año, en potreros sometidos a pastoreo rotacional con ganado lechero en el pasto Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*) en Carrizal, Alajuela, y los pastos Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y Toledo (*Brachiaria brizantha cv. Toledo*) en San Carlos, Alajuela (Costa Rica).

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella
	kg ha⁻¹		
K	2184	2081	1381
N	1273	1048	1109
Ca	173	274	205
P	183	168	171
Mg	145	241	94
S	123	82	145
Fe	32,17	10,07	8,46
Cu	0,81	0,81	1,17
Zn	2,32	2,98	2,88
Mn	3,85	8,62	5,25
B	0,24	0,31	0,18
Peso seco	51 868	89 478	59 281

Fuente: Rivera 2008.

cv Toledo

El pasto Toledo se desarrolló en las mismas condiciones de suelo y clima que el pasto Estrella, con solo 15 días de diferencia entre uno y otro en el ingreso a pastoreo. El aspecto básico de mayor importancia es el tipo de crecimiento de cada planta ya que el cv Toledo presentó un crecimiento semi erecto y una base macollada, con poca presencia de estolones, caso contrario a la Estrella donde predomina este sistema de expansión y su porte es rastrero. Probablemente por esta última característica es que la producción de material seco fue mayor en el Toledo, de 89,5 t ha⁻¹.

El orden de absorción obtenido indica que el K fue el de mayor absorción, seguido de N, Ca, Mg, P y S. A diferencia del pasto Estrella el cv Toledo absorbió mayor cantidad de Ca y Mg, mientras solo la mitad del S fue absorbido por este pasto. En los elementos menores el orden de absorción de mayor a menor fue, Fe, Mn, Zn, Cu y B.

Kikuyo

El pasto Kikuyo presentó la producción de material seco más baja de los tres pastos de 51,9 t ha⁻¹ que se debió probablemente al momento de ingreso a pastoreo, ya que la distribución de las lluvias muestra que de julio a diciembre del año 2001 fueron los meses con mayor precipitación, lo cual resultó en más agua en los pastos y poca materia seca en los mismos. Hacia el final del periodo de estudio se mostró una leve tendencia a mejorar la producción de materia seca.

Al determinar el patrón de absorción del Kikuyo se observó que la mayoría de las curvas tienen una misma tendencia ascendente en los tres forrajes indicando a febrero, marzo y abril como los meses en que los nutrientes son absorbidos en mayor cuantía. El N, el P, el K, el Mg y el S se absorbieron más en febrero, mientras que el Ca tuvo su pico de absorción entre febrero y abril. El orden descendente de absorción de los macro nutrimentos fue K, N, P, Ca, Mg y S.

Para los micronutrientes se tuvo un comportamiento semejante durante los meses citados; importante es mencionar que a diferencia de los otros dos pastos se presentó un mayor consumo de Fe. Este alto consumo de Fe contrasta con los valores de absorción obtenidos en la fase de establecimiento donde se mencionó la posibilidad de contaminación en las muestras de raíces con suelo, en este caso los valores se presentan nuevamente pero a nivel foliar lo cual indica una alta afinidad de las gramíneas por el Fe, descartando algún síntoma de toxicidad o de limitación de la absorción de otros nutrientes ya que lo observado en el campo, indica que nunca hubo síntomas de deficiencia de otros elementos, aunado a los contenidos foliares obtenidos, que presentaron valores adecuados. Aunque hay diferencias en las toneladas de material seco producidas por los tres pastos, las absorciones de micronutrientes fueron semejantes

entre uno y otro pasto. El orden decreciente de absorción de micronutrientes en el pasto Kikuyo fue Fe, Mn, Zn, Cu y B.

Exportación de nutrientes por periodo de descanso en los pastos Estrella, cv Toledo y Kikuyo durante un año, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

En la sección anterior se mencionó la absorción de nutrientes por parte del pasto durante un año. Dicha absorción representa la cantidad total de nutrientes que llega a la planta, considerado como 100 %. Una vez ingresados los animales al potrero, se presentan situaciones que limitan el consumo del forraje, tales como, la duración del periodo de descanso, el pisoteo, la deposición de nuevas excretas sobre el pasto, entre otros. Al considerar estas observaciones, se puede definir la exportación de nutrientes como la fracción del total de nutrientes presente en el pasto, que es consumida por los animales de pastoreo y por tanto exportada a otro sistema.

Al considerar la exportación de nutrientes, en Estrella africana se obtuvo una extracción total de material seco de 14 435 kg ha⁻¹, que representó el 24% de consumo. En Kikuyo la extracción fue de 12 992 kg ha⁻¹ correspondiente a un 25% de consumo y en el cv Toledo se extrajeron 25213 kg ha⁻¹ para un 28% de consumo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Peso seco y nutrientes EXPORTADOS en los pastos Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*), Toledo (*Brachiaria brizantha cv. Toledo*) y Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) sometidos a pastoreo por periodo de descanso, en Costa Rica

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella
	kg ha ⁻¹ año ⁻¹		
K	540,5	617,5	325,0
N	321,7	278,2	264,8
Ca	43,7	68,8	47,7
P	43,9	49,5	42,5
Mg	36,9	65,3	22,6
S	30,4	25,7	33,1
Fe	9,65	2,92	1,92
Cu	0,16	0,19	0,29
Zn	0,56	0,84	0,82
Mn	0,96	2,39	1,33
B	0,06	0,11	0,03
Peso seco	12 992	25 213	14 435

Fuente: Rivera 2008.

Al considerar la exportación de nutrientes en el pasto Estrella, se obtuvo que al igual que la absorción total, el K fue el elemento que más se exportó del sistema, seguido por

el N, Ca, P, S y Mg. En el caso de los elementos menores, con excepción del B todos fueron sustraídos en mayor cantidad en el área sin paleteo, el orden de exportación se mantiene (Fe, Mn, Zn, Cu y B).

En el caso del pasto cv Toledo exportó principalmente K, seguido de N, Ca, Mg, P y S. En el caso de los elementos menores el principal fue Fe, luego Mn, Zn, Cu y B.

En el pasto Kikuyo, el orden de exportación para los macronutrientes indica que el K es el elemento que más sale del sistema suelo-planta, seguido del N, P, Ca, Mg y S, por efecto de consumo de los animales. En el caso de los elementos menores se obtuvo que el Fe fue más consumido, luego el Mn, Zn, Cu y B.

El aspecto más importante de conocer la cantidad de nutrientes exportados de los potreros, como forraje consumido por los animales, es que permite obtener una regla sencilla y práctica, que le ayude al productor a manejar de una forma más acertada la fertilización de la finca. Es primordial tener información de análisis de suelo que permitan diagnosticar deficiencias de nutrientes que deban corregirse.

Para calcular la cantidad de nutrientes que se deben restituir al suelo, por efecto de la exportación de los mismos, producto del consumo de forraje por el animal, se debe tener en cuenta el número de animales de la finca, la concentración de estos nutrientes en el forraje y la cantidad de alimento consumido.

Análisis foliar

Como técnica de diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas, el análisis foliar se basa en que las plantas, la hoja y cada uno de sus órganos requieren una determinada concentración de cada nutriente esencial para el normal desenvolvimiento de las funciones que en ellos tienen lugar y de las cuales depende la producción (Bertsch, 1998).

Programas de fertilización en el establecimiento y por periodo de descanso en los pastos Estrella, Toledo y Kikuyo, en potreros bajo pastoreo rotacional con ganado lechero.

La fertilización de pasturas en Costa Rica se ha manejado sin conocer cual es en realidad el requerimiento de nutrientes de los pastos, aunque hay que mencionar que en ganadería de leche es difícil encontrar pasturas que muestren deficiencias nutricionales. Lo que sí es normal es encontrar productores que aplican una misma fórmula de fertilizante todo el año, o aplican un solo monoproducto que normalmente es nitrógeno.

La fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes, muestran que la fertilización representa aproximadamente el

19% de los costos de producción de un animal durante su periodo de lactancia (Rojas *et al.* 2002). Por lo general la fertilización de potreros en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse al suelo. El diseño de un programa de fertilización debe establecerse con base en los análisis foliares y de suelos del área respectiva, además de considerar factores determinantes como suelo, clima, método de aplicación, tipo de fertilizante y la especie forrajera (Acosta 1995).

Con la información de extracción obtenida, bajo las condiciones antes mencionadas y con los cuidados del caso, se pueden obtener alternativas que permitan mejorar los programas de fertilización de las fincas ganaderas.

Establecimiento

En general, las dosis recomendadas en la siembra de pastos varían de 4 a 10 sacos de 45 kg de fórmulas altas en fósforo como la 10-30-10; cantidades que suplen adecuadamente los requerimientos de establecimiento de los pastos estudiados cuando los suelos presentan de buena a mediana fertilidad. Aun así se pueden optimizar los recursos y utilizar fuentes de fertilizantes sin material empleado como vehículo (relleno), que además permitan contribuir con otros nutrientes a parte del N, P y K., tales como Mg, S, Zn y B. En el cuadro 15 se presenta un ejemplo de los posibles programas de siembra a utilizar en los pastos estudiados.

Se debe tomar en cuenta que las siembras de pastos normalmente se realizan en invierno, cuando las lluvias se han establecido. Se ubica en los programas fuentes de nitrógeno principalmente amoniacales, con el propósito de evitar las posibles pérdidas por lixiviación, aun así los programas mostrados son solo un ejemplo de la gran cantidad de posibilidades que se pueden citar y que además están influenciadas, por la disponibilidad de materias primas en el mercado, el clima, el suelo, etc.

En los casos del pasto Estrella y el pasto Kikuyo se recomienda hacer la primera aplicación de fertilizante aproximadamente 15 días después de la siembra, esto se debe a que ambas plantas son sembradas mediante estolones y rizomas; este periodo de tiempo permite el desarrollo de rebrotes que generen la parte aérea de la nueva siembra. A diferencia de estos pastos, en el pasto cv Toledo se considera los mismos 15 días pero después de la germinación; la razón es que la semilla de Toledo presenta diferencias entre lote y lote en cuanto a germinación se refiere, variando de 8 hasta 25 días para que la semilla germine. Con este manejo se lograría una mayor certeza de que el fertilizante realice su efecto en el momento deseado.

Un aspecto importante en todos los casos es la poca reposición del K como parte del programa de fertilización, ya que los pastos presentan la capacidad de obtener K del suelo y acumularlo en sus tejidos, así mismo se debe considerar que en los programas

propuestos se incluyen unos cuantos kilogramos de K, pero es consecuencia de que la mayoría de fórmulas disponibles en el mercado contienen este nutrimento.

Pastoreo

Posterior al establecimiento de los pastos, inicia el pastoreo de los mismos, por lo que se debe considerar las salidas de nutrientes que hay del sistema. Según las condiciones de finca para cada forraje, se debe considerar los días de descanso del pasto para proponer un programa de fertilización. Como práctica normal se utilizan los primeros tres días posteriores al pastoreo para aplicar el fertilizante, pero es recomendable realizarlo como mínimo 8 días después del pastoreo, cuando la planta este recuperada del pisoteo y por consiguiente pueda absorber los nutrimentos eficientemente. Esta práctica se debe repetir en cada ciclo de pastoreo y por todo el año, siempre que exista humedad. Es importante tomar en cuenta los puntos de mayor extracción para suplir en el momento adecuado los nutrientes necesarios.

Actualmente el tema más importante en el sector agrícola es la contaminación ambiental. Conocer los requerimientos nutricionales de los pastos, permite a los productores utilizar las cantidades necesarias de fertilizantes, que permitan el adecuado desarrollo de los pastos, cuidando el medio ambiente.

Desde el punto de vista económico, el desconocimiento de los requerimientos nutricionales y el aporte de las excretas, favorece las pérdidas monetarias de los productores, ya que facilita la utilización excesiva o inadecuada de recursos.

El conocimiento de los requerimientos nutricionales de los pastos, permite avanzar en el mejoramiento de las recomendaciones de fertilización a utilizar en las fincas. Estudios posteriores de comprobación de los resultados obtenidos, permitirán afinar más estos conocimientos.

LITERATURA CITADA

ACOSTA, R. 1995. Fertilización y pastoreo rotacional: dos técnicas para alta producción de leche y carne. San José, Costa Rica, CAFESA. 75 p.

ALTIERI M. y YURJEVIC A. 1999. La agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible en América Latina. Agroecología y Desarrollo. CLADES. Año2. No. 1 25-36 p.

AHMED, A.; G. SCHUMAND y R. HART. 1987. Soil Bulk Density and Water infiltration as affected by Grazing Systems. J. of Range Management 40(4):307-309.

- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 157 p.
- CARTER, M. R. 1990. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine Sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science* 70. 425-433.
- DEFOSSEZ, P. and G. RICHARD. 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil and Tillage Research*. 67: 41-64.
- FORSYTHE, W. 1986. Manual de Laboratorio. Física de suelos. IICA, San José, Costa Rica.
- HANDEH, N.H. 2003. Compaction and Subsoiling Effect on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Of Am. J.* 67: 1213-1219
- HENRÍQUEZ, C.; G. CABALCETA. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 1era. Edición, San José, Costa Rica.
- KANG B. 1994. Cultivos en callejones: Logros y perspectivas. *Agroforestería en Desarrollo*. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. Chapingo. Mexico. pp. 61-82
- LEISA. 1997 En: Forjando asociaciones. Volumen 13 No. 2 p. 5.
- PERROUX, K. M. y WHITE I. 1988. Design for disc permeameters. *Soil Sci. Am. J.* 52. 1205-1215.
- PHILLIPS, R.E., y D. KIRKHAM. 1962. Mechanical impedance and corn seeding root growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:319-322.
- RIVERA, A. 2008. Curvas de absorción de nutrimentos durante el establecimiento de potreros; absorción total de nutrimentos y efecto de las excretas, durante el pastoreo rotacional con ganado lechero, en los pastos Kikuyo (*Kikuyo chloa clandestinum*), Estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) y Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. TOLEDO). Tesis Magister Scientie, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 89 p.
- ROJAS, A.; RIVERA, A.; SALAZAR, M. 2002. Estructura de costos de la crianza de novillas Holstein en la zona alta del Valle Central de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica.

SOSA, O.; MARTÍN, B; ZERPA, G; LAVADO, R. 1995. Acción del pisoteo de la hacienda sobre el suelo y la vegetación: Influencia de la altura del tapiz. Rev. Arg. De Producción Animal. 15 (1) 252-255.